МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

К

Q

А. Я. Акментыньш

ЛЮБИТЕЛЬСКИЙ КУМЕТР



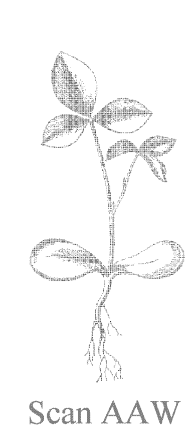
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 736

А. Я. АКМЕНТЫНЬШ

ЛЮБИТЕЛЬСКИЙ КУМЕТР





«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1970

6Ф2.08
А 40
УДК 621.317.737

Акментыньш А. Я.

А 40 Любительский куметр, М., «Энергия», 1970.

40 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 736).

Рассматривается принцип построения куметра. Даются описание любительской конструкции куметра на полупроводниках и методы его наладки. Кратко излагаются методы измерения параметров различных элементов радиосхем с помощью куметра.

Брошюра предназначена для радиолюбителей-конструкторов.

3-4-5
349-69

6Ф2.08

ПРЕДИСЛОВИЕ

Куметр (Q-метр), или измеритель добротности, предназначен в основном для измерения с непосредственным отсчетом добротности катушек индуктивности в широком диапазоне частот. Однако на практике этот прибор дает возможность измерять индуктивность и собственную емкость катушек, емкость и добротность конденсаторов, высокочастотное сопротивление резисторов и др. Методика измерений с помощью куметра довольно проста, и остается только сожалеть, что в любительской практике куметр до сих пор не нашел широкого применения.

Причина непопулярности самодельных куметров, очевидно, заключается в том, что его конструирование считается делом очень сложным. В брошюре показано, что изготовление куметра на полупроводниковых приборах не сложнее изготовления, например, сигнал-генератора. Предлагаемая схема куметра проста, и ее монтаж вполне доступен радиолюбителям средней квалификации. Главная трудность состоит в градуировке шкал прибора, точность выполнения которой в основном определяет точность измерений. Но даже упрощенно сделанный куметр дает возможность производить целый ряд измерений на высоких частотах и получить ответ на такие, например, вопросы: какая из конструкций катушек индуктивности обладает большей добротностью или меньшей собственной емкостью, каков коэффициент укорочения данного коаксиального кабеля, какой из конденсаторов имеет меньшие потери и т. п.

А. Акментыньш

Глава первая

ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ КУМЕТРА

ПОНЯТИЕ ДОБРОТНОСТИ

Рассматривая любой элемент радиотехнической схемы в целом как двухполюсник и не интересуясь его внутренним строением, можно определять его свойства эквивалентными параметрами. Эти эквивалентные параметры двухполюсника в общем случае зависят от частоты приложенного напряжения, но для заданного значения частоты и конкретного рассматриваемого элемента они являются вполне определенными, что дает возможность заменить такой двухполюсник эквивалентной последовательной или параллельной схемой; схемы изображены на рис. 1. На рисунке r и R обозначают эквивалентное активное сопротивление, а X — эквивалентное реактивное сопротивление в соответствующих схемах замещения.

Добротность реактивного элемента схемы определяют как отношение

$$Q=\frac{X}{r}=\frac{R}{X}. \tag{1}$$

Эквивалентность последовательной и параллельной схем обеспечивается при условии

$$R=rQ^2. \tag{2}$$

Кроме того, из формулы (1) следует, что

$$rR=X^2. \tag{3}$$

Эквивалентное реактивное сопротивление может быть индуктивным

$$X_L=\omega L=2\pi fL \tag{4}$$

или емкостным

$$X_C=\frac{1}{\omega C}=\frac{1}{2\pi fC}, \tag{5}$$

где L — индуктивность элемента;

C — емкость элемента.

Для более краткой записи введена угловая частота

$$\omega=2\pi f. \tag{6}$$

В соответствии с этим любую катушку индуктивности и любой конденсатор можно представить эквивалентными схемами, показан-

ными на рис. 2 и 3. При этом заметим, что в нашем случае индуктивности (или соответственно емкости) в последовательных и параллельных схемах одинаковы.

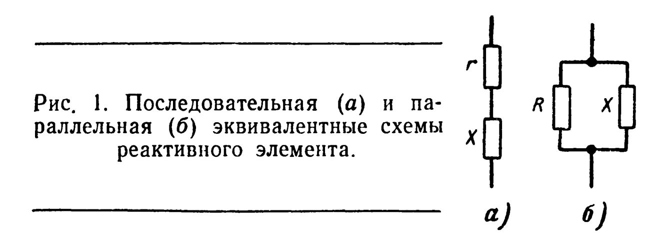


Рис. 1. Последовательная (*а*) и параллельная (*б*) эквивалентные схемы реактивного элемента.

При замене реальной катушки индуктивности или реального конденсатора соответствующими эквивалентными схемами с учетом

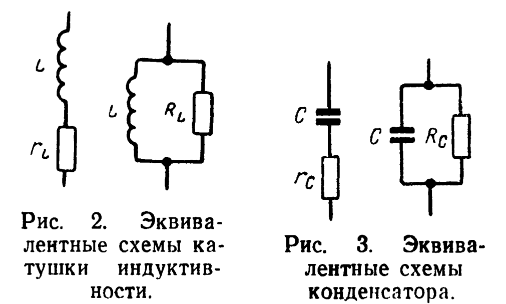


Рис. 2. Эквивалентные схемы катушки индуктивности.

Рис. 3. Эквивалентные схемы конденсатора.

обозначений на рис. 2 и 3 можно определить д о б р о т н о с т ь к а т у ш к и

$$Q_L = \frac{\omega L}{r_L} = \frac{R_L}{\omega L} \qquad (7)$$

и д о б р о т н о с т ь к о н д е н с а т о р а

$$Q_C = \frac{1}{\omega C r_C} = \omega C R_C \,. \qquad (8)$$

Иногда для конденсаторов вместо добротности, вводят обратную ей величину — т а н г е н с у г л а п о т е р ь

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{Q}. \qquad (9)$$

При исследовании последовательного колебательного контура проще применять последовательные эквивалентные схемы катушки и кон-

денсатора (рис. 4), причем добротность колебательного контура

$$Q=\frac{\omega_0 L}{r}=\frac{1}{\omega_0 C r}, \qquad (10)$$

где r — эквивалентное сопротивление потерь контура

$$r=r_L+r_C.$$

Так как $r=\omega_0 L/Q$, $r_L=\omega_0 L/Q_L$ и $r_C=1/(\omega_0 C r_C)=\omega_0 L/r_C$, то легко показать, что

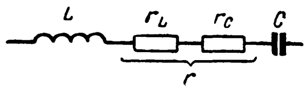


Рис. 4. Эквивалентная схема последовательного колебательного контура.

$$\frac{1}{Q}=\frac{1}{Q_L}+\frac{1}{Q_C},$$

а добротность колебательного контура будет определяться формулой

$$Q=\frac{Q_L Q_C}{Q_L+Q_C}, \qquad (11)$$

где Q_L и Q_C — соответственно добротности катушки и конденсатора на резонансной частоте.

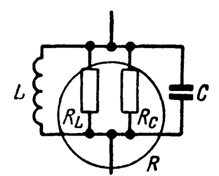


Рис. 5. Эквивалентная схема параллельного колебательного контура.

При анализе параллельного колебательного контура проще применять параллельные эквивалентные схемы (рис. 5). В этом случае добротность колебательного контура будет равна:

$$Q=\frac{R}{\omega_0 L}=\omega_0 C R, \qquad (12)$$

где R — эквивалентное сопротивление потерь контура,

$$R=\frac{R_L R_C}{R_L+R_C},$$

а ω_0 — резонансная частота, определяемая по формуле

$$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}. \qquad (13)$$

Добротность параллельного колебательного контура можно также определить и по формуле (11).

СХЕМЫ КУМЕТРА

Классическая схема, применяемая в заводских куметрах, например типа КВ-1 (Е9-1), состоит из высокочастотного генератора $Г$ (рис. 6,*а*), частота которого может перестраиваться в широком диапазоне (от 50 *кгц* до 25 *Мгц*). Напряжение генератора U с сопротивления связи $r_{св}$ (0,04 *ом*) поступает в колебательный контур, состоящий из подключаемой исследуемой катушки L_x и встроенного в куметр конденсатора переменной емкости C (от 30 до 450 *пф*), высокой добротности ($Q_C>5\,000$). Параллельно конденсатору подключен ламповый вольтметр V с большим входным сопротивлением.

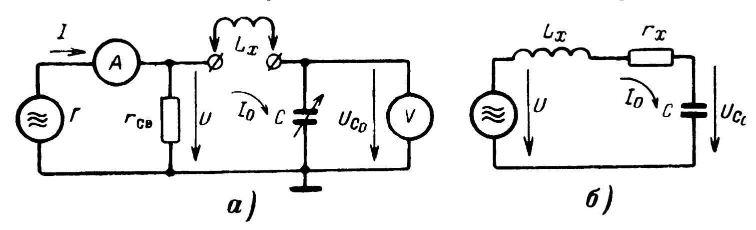


Рис. 6. Упрощенная схема куметра.

С помощью конденсатора переменной емкости C колебательный контур настраивают в резонанс. При этом его сопротивление будет минимально, а протекающий через него ток I_0 максимален. Полагая, что сопротивление потерь конденсатора r_C и сопротивление связи $r_{св}$ незначительны по сравнению с эквивалентным активным сопротивлением исследуемой катушки r_x (рис. 6,*б*), т. е. $r_C \ll r_x$ и $r_{св} \ll r_x$, можно считать, что введенное в контур напряжение

$$U=Ir_{св}.$$

Это напряжение устанавливается определенной величины и контролируется с помощью амперметра A (например, устанавливая ток 0,5 *а*, получают $U=0{,}5\cdot 0{,}04=0{,}02$ *в*). При резонансе сопротивление колебательного контура равно его эквивалентному последовательному активному сопротивлению, которое можно принять равным r_x. Тогда ток в контуре будет равен:

$$I_0=\frac{U}{r_x},$$

а напряжение на конденсаторе, измеряемое вольтметром,

$$U_{C_0}=I_0X_{C_0}=\frac{I_0}{\omega_0 C}=I_0\omega_0 L_x.$$

Отношение напряжений

$$\frac{U_{C_0}}{U}=\frac{\omega_0 L_x}{r_x}=Q_x \qquad (14)$$

позволяет определить добротность измеряемой катушки. При устанавливаемом постоянном напряжении U шкалу вольтметра V можно проградуировать непосредственно в единицах Q (верхний предел 5 *в* соответствует $Q_x=5/0{,}02=250$).

Вместо малого сопротивления связи $r_{св}$ в схеме куметра можно ввести большую емкость связи $C_{св}$ (рис. 7). В этом случае резонанс наступает при частоте

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C^* + C}{C^* C L_x}}, \qquad (15)$$

где $C^* = C_1 + C_{св}$, а отношение напряжений при резонансе равно:

$$\frac{U_{C_0}}{U} = Q^*_x \frac{C_1}{C + C^*}. \qquad (16)$$

Колебательный контур теперь состоит из индуктивности L_x и двух емкостей C и $C^* = C_1 + C_{св}$, соединенных последовательно. Отношение напряжений уже неоднозначно определяет добротность Q_x,

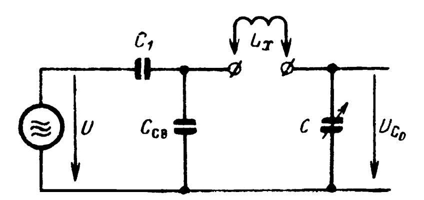


Рис. 7. Схема куметра с конденсатором связи.

так как в формулу (16) входит еще емкость настройки контура C. На практике всегда $C \ll C^*$, и поэтому можно принять

$$\frac{U_{C_0}}{U} = Q_x \frac{C_1}{C^*} \qquad (17)$$

и соответственно в единицах Q_x проградуировать шкалу вольтметра. Сопоставляя формулы (16) и (17), видим, что

$$Q^*_x = Q_x \left(1 + \frac{C}{C^*}\right). \qquad (18)$$

Глава вторая

КОНСТРУКЦИЯ ЛЮБИТЕЛЬСКОГО КУМЕТРА

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА

В основу любительского куметра положена схема с конденсатором связи $C_{св}$ (рис. 7), так как подобрав его емкость, можно получить напряжения U и U_{C_0} одного порядка и измерять их одним вольтметром. Однако практически такая простая схема трудно реализуема из-за появления дополнительных емкостей, вводимых переключателем. Кроме того, входное сопротивление вольтметра (осо-

бенно транзисторного) шунтирует колебательный контур и снижает его добротность.

Простой выход найден в схеме, принцип которой пояснен на рис. 8. Вольтметр подключается к соответствующим точкам схемы через два емкостных делителя напряжения C_2C_3 и $C'_2C'_3$. Так как делители напряжения остаются постоянно включенными, то переключение вольтметра практически не расстраивает схему. Делители напряжения уменьшают нагрузку контура входным сопротивлением вольтметра в $(1+C_3/C_2)^2$ раз, а измеряемое напряжение уменьшается только в $(1+C_3/C_2)$ раз.

Полная схема предлагаемого куметра представлена на рис. 9. Высокочастотный генератор собран по схеме с общей базой на транзисторе T_1. Благодаря применению пяти катушек индуктивности

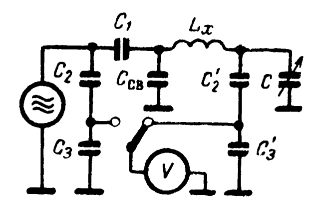


Рис. 8. Упрощенная схема любительского куметра.

L_1—L_5 и конденсатора переменной емкости C_6 диапазон частот генератора простирается от 90 *кгц* до 10 *Мгц*.

Конденсатор C_2 и переключаемые резисторы R_7—R_{10} составляют цепь положительной обратной связи. Нужную амплитуду колебаний устанавливают с помощью потенциометра R_6. Для устранения явления затягивания частоты генератора при настройке измеряемого колебательного контура между генератором и измерительной схемой включен сложный эмиттерный повторитель на транзисторах T_2 и T_3. Высокочастотное напряжение поступает в измерительную схему с конденсаторов C_{14} и C_{18} (которые соответствуют конденсаторам C_1 и $C_{св}$ на схеме рис. 8). Параллельно конденсатору C_{14} с помощью тумблера $П_2$ можно подключить конденсатор C_{15}, тем самым изменив предел измерения добротности. Конденсаторы C_{21} и C_{22} служат для настройки измерительного контура (соответствуют C на схеме рис. 8). Конденсаторы C_{16}, C_{17} и C_{19}, C_{20} образуют делители напряжения для подключения вольтметра. Принимая входную емкость транзисторного вольтметра равной 9 *пф* при данных в схеме значениях емкостей, получаем, что делитель делит напряжение в $1+36/6=7$ раз, а увеличивает входное сопротивление вольтметра в $7^2=49$ раз. Транзисторный вольтметр состоит из двух эмиттерных повторителей на транзисторах T_4 и T_5, выпрямительного моста $Д_1Д_2C_{26}C_{27}$ и микроамперметра μA. Переключение вольтметра производится кнопочным переключателем $П_4$.

КОНСТРУКЦИЯ И МОНТАЖ

Перечень всех деталей куметра приведен в табл. 1.

Куметр смонтирован в алюминиевом ящике с крышкой. Удобнее всего для этой цели использовать ящик от авометра (Ц55—Ц57), который нужно переделать следующим образом. Вынимают все перегородки внутри ящика, затем его вместе с крышкой перепиливают в поперечном направлении пополам и делают на заклепках вставки

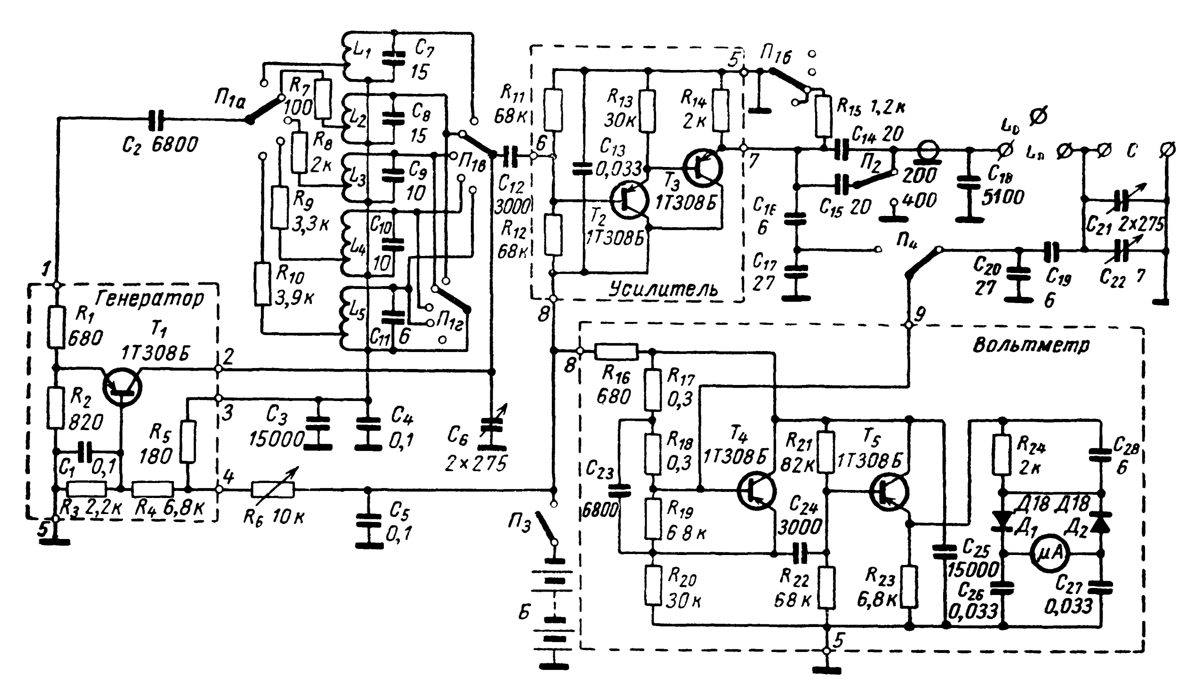


Рис. 9. Полная электрическая схема любительского куметра.

Таблица 1

Перечень деталей куметра

Наименование	Количество	Замена или поясняющий рисунок
Ящик с крышкой	1	—
Панель	1	Рис. 10
Зажим с изолирующими прокладками	5	—
Фторопластовая прокладка	3	Полистирол
Переключатель $П_1$ галетный с керамической изоляцией ПГК-5П4Н	1	С пластмассовой изоляцией
Переключатель кнопочный $П_4$	1	Рис. 11
Тумблеры $П_2$, $П_3$ типа ТВ2-1	2	—
Микроамперметр 0—50 *мка* типа М4207	1	М4204, М49
Конденсаторы C_1, C_4, C_5 типа МБМ	3	—
Конденсаторы C_2, C_{12}, C_{23}, C_{24} типа КТМ	4	—
Конденсаторы C_3, C_{13}, C_{25}—C_{27} типа КЛС	5	—
Конденсаторы C_7—C_{11}, C_{14}—C_{17}, C_{19}, C_{20} и C_{28} типа КДМ	12	Конденсаторы C_{14} и C_{15} подбираются одинаковой емкости с точностью ±1%; КТМ; КТ
Конденсаторы переменной емкости с верньером C_6, C_{21} от приемника „Атмосфера“	2	—
Конденсатор C_{18} типа СГМ	1	—
Конденсатор C_{22} — подстроечный	1	Рис. 11
Лимб	3	Рис. 11
Ручка диаметром 20 *мм*	2	—
Ручка диаметром 40 *мм*	2	—
Ручка типа „клюв“	1	—
Ящик с крышкой для элементов	1	Рис. 13
Печатные платы	3	Рис. 12
Резисторы типа УЛМ ±10% R_1—R_5 и R_7—R_{24}	23	—
Катушки индуктивности L_1—L_5	5	Табл. 2
Потенциометр R_6 типа ППБ-1а	1	СПО-1
Кабель коаксиальный	15 *см*	—
Элемент 1,3 ФМЦ-0,25	8	№332

из алюминиевой жести, удлиняющие ящик и крышку примерно на 70 *мм*, так чтобы в ящик входила панель длиной 286 *мм*. Переставляют и ручку ящика. Внутри ящика, отступая на 8 *мм* от верхнего края, укрепляют на заклепках алюминиевые уголки размерами 10×8×1,5 *мм*, на узкую сторону которых ложится панель прибора. Ящик можно изготовить также из жести по размерам панели. Глубина ящика за панелью должна быть 48—50 *мм*.

Панель вырезают из листового алюминия (рис. 10) толщиной 2,5—3 *мм*, закругляют все углы так, чтобы она входила в ящик и ложилась на уголки, и сверлят в панели отверстия. Назначение отверстий можно понять, сопоставляя рис. 10 с рис. 14 и 15. Если применяются детали других типов, чем указанные в табл. 1, то следует соответственно изменить расположение и диаметр отверстий. Панель крепят к уголкам ящика шестью винтами М2,6, для чего в уголках сверлят отверстия диаметром 2 *мм* и нарезают резьбу. После этого ящик, крышку и верхнюю сторону панели покрывают лаком.

Зажимы следует брать по возможности малые, с малой емкостью. В описываемом образце использованы малогабаритные изолированные зажимы «Пунане РЭТ» с гнездом для вилки. Самый нижний зажим соединен с панелью. Самый верхний изолирован пластмассовой буксой и шайбой. Три средних зажима, кроме того, еще изолированы фторопластовыми прокладками толщиной 3 *мм*, сверху двумя, а снизу одной, как это видно из рис. 14 и 15. Из белой меловой бумаги изготовляют по рис. 14 две шкалы с вычерченными тушью дугами. Эти шкалы вместе с конденсаторами переменной емкости временно крепят к панели. Затем к панели крепят прибор, потенциометр R_6, галетный переключатель и оба тумблера.

Кнопочный переключатель $П_4$ должен обладать минимальной емкостью. Для этого или используют готовое гнездо *1* (рис. 11), или вытачивают его из латуни. Гнездо крепят к панели гайкой, через него свободно должна проходить эбонитовая кнопка *2*. Основание *3* вырезают из текстолита. К основанию двумя винтами М2,6 с гайками крепят три контактные пружины *4* с изоляционными прокладками *5*. На винты предварительно надевают эбонитовые изоляционные трубочки, а под каждую контактную пружину подкладывается контактный лепесток для подсоединения к схеме. Две крайние пружины обрезают примерно наполовину. Лепестки этих пружин соединяют вместе и с корпусом, чтобы экранировать среднюю контактную пружину. Четвертую контактную пружину разрезают продольно пополам и обе части крепят винтами М3 к основанию так, чтобы конец экранированной контактной пружины находился в середине между ними. При нажатии на кнопку средняя пружина размыкает левый контакт с левой контактной пружиной и замыкает правый контакт с правой пружиной. Для этого правую пружину требуется поднять, прокладывая между основанием и пружиной дистанционную трубочку. Смонтированный таким образом переключатель крепится на двух гайках к концу гнезда *1*. Чтобы кнопка не выпадала, после ее сборки через отверстие в кнопке продевают отрезок 1 *мм* мягкой медной проволоки, концы которой загибают.

Подстроечный конденсатор C_{22} — самодельный. Он имеет одну неподвижную пластину *6* (рис. 11) и одну подвижную *7*. К панели гайкой крепят гнездо *1* с прокладкой из двух шайб. Ось *8* вытачивают так, чтобы она без люфта проходила через гнездо *1*. Статор припаивают непосредственно к статорным лепесткам конденсатора переменной емкости C_{21}. Для жесткости угол статора еще крепят

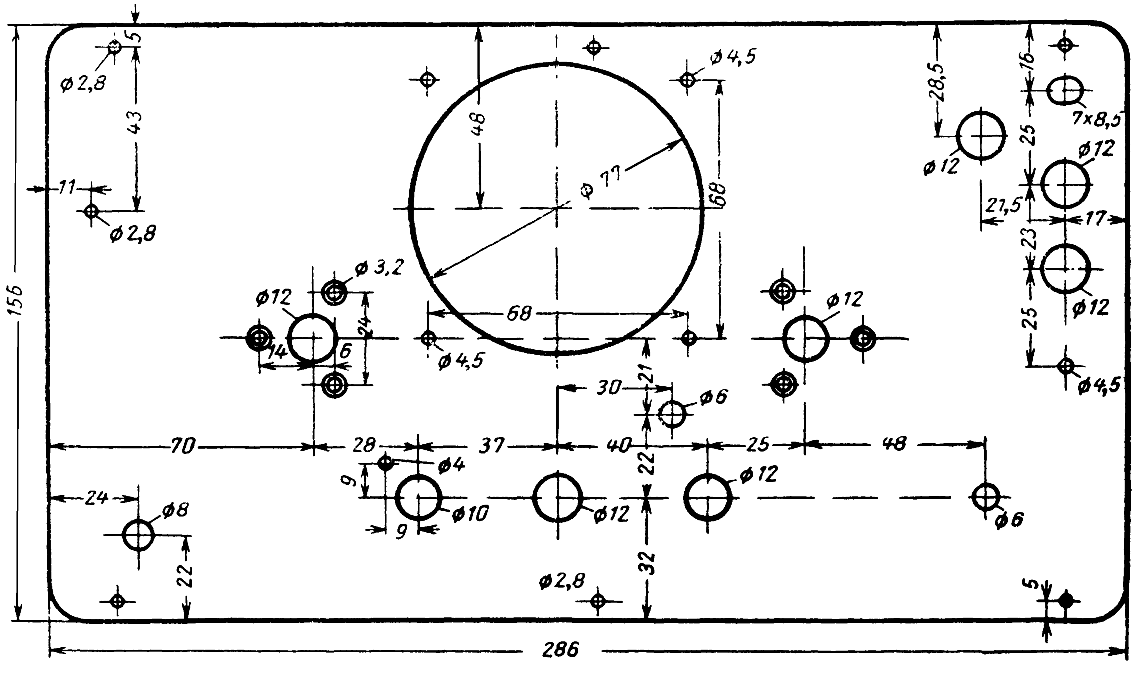


Рис. 10 Панель.

винтом М2,6 к полистироловому стержню диаметром 8 и длиной 22 *мм*, другой конец которого прикреплен к панели. Чтобы не просверливать панель, стержень крепят винтом с потайной головкой к латунной пластинке размерами 10 × 26 *мм*, которая другим концом прижата к панели гайкой нижнего зажима. В результате статор

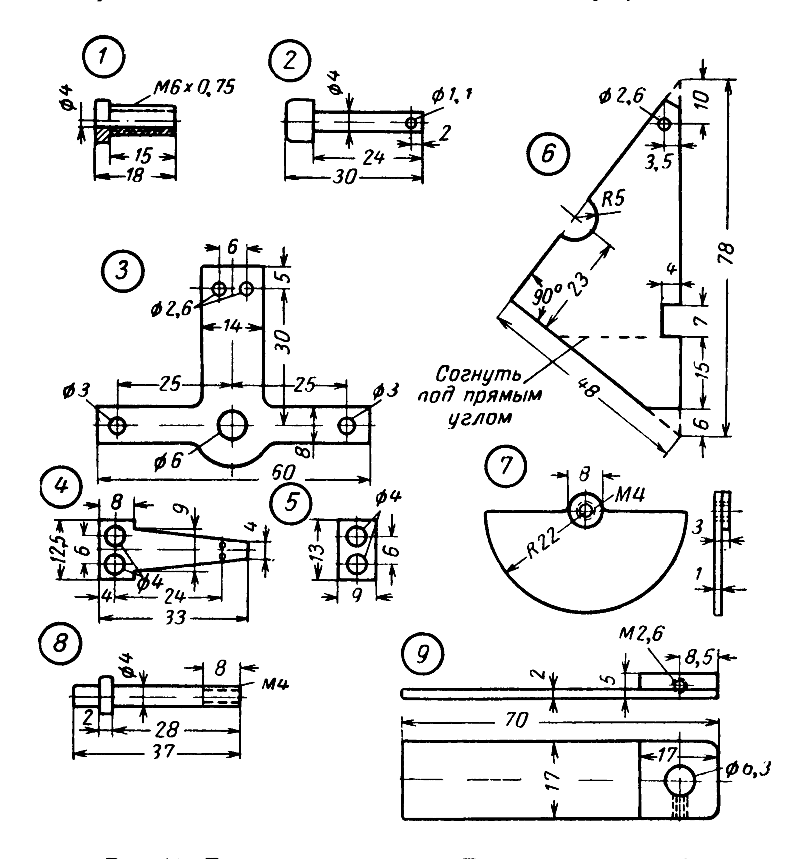


Рис. 11. Детали переключателя $П_4$ и конденсатора $С_{22}$.

1 — гнездо 2 шт. (латунь диаметром 8 *мм*); *2* — кнопка (эбонит диаметром 8 *мм*); *3* — основание (текстолит толщиной 1,5—2 *мм*); *4* — контактная пружина с серебряными контактами 4 шт. (нейзильбер толщиной 0,5 *мм*); *5* — изоляционная прокладка, 5 шт. (гетинакс толщиной 1 *мм*); *6* — статор (латунь толщиной 1 *мм*); *7* — ротор (латунь толщиной 1 *мм*); *8* — ось (сталь серебрянка диаметром 8 *мм*); *9* — лимб 2 шт. (плексиглас).

должен быть жестко укреплен параллельно панели на расстоянии примерно 23 *мм* от нее. На продетую ось *8* накладывают шайбу диаметром 10 *мм* с отверстием диаметром 4 *мм*, на нее — пружинную шайбу такого же размера из слегка согнутой фосфористой бронзы; затем навинчивают гайку М4 и ротор. Последний фиксируют гайкой так, чтобы между статором и ротором образовался зазор около

1,5 *мм*. Очень важно, чтобы ротор поворачивался плавно, без покачиваний и без перекоса по отношению к статору.

Для конденсаторов переменной емкости C_6 и C_{21} изготовляют плексигласовые лимбы *9* (рис. 11). К концу лимба приклеивают кусок плексигласа так, чтобы толщина лимба стала 5 *мм*. Клей приготовляют растворением кусочков плексигласа в дихлорэтане. На нижней стороне лимба проводят острой иглой риску, которую заполняют красной тушью. Лимб для подстроечного конденсатора

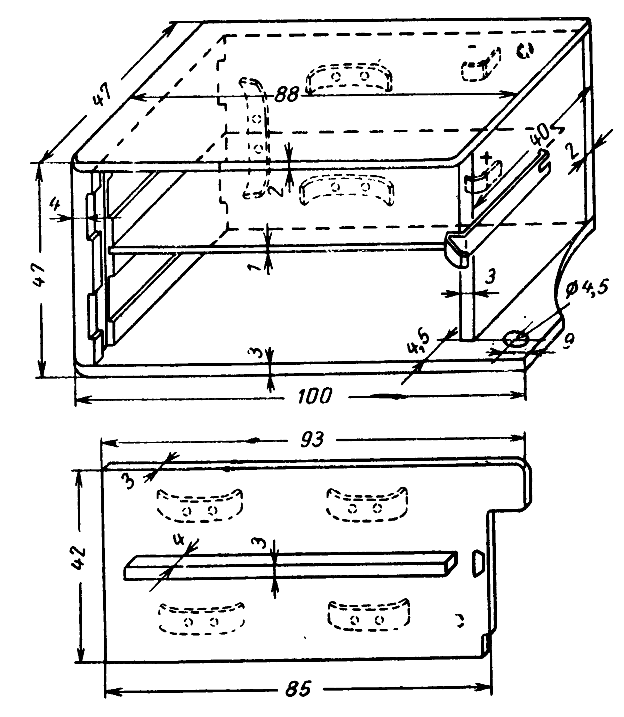


Рис. 12. Коробка для источников питания и крышка к ней. Материал — плексиглас.

вырезают из плексигласа толщиной 3 *мм* и крепят непосредственно к ручке конденсатора клеем либо винтами. Чтобы устранить параллакс, можно провести с обеих сторон лимба по риске.

Коробку для источников питания изготовляют из плексигласа по рис. 12. В коробку должны плотно входить 8 элементов типа 1,3 ФМЦ-0,25. Для соединения элементов в батарею на дне коробки помещают 5 контактных пружин из нейзильбера (отрезки релейных контактных пружин). Два выводных контакта (на рис. 12 обозначены «—» и «+») согнуты под прямым углом и продеты через отверстия в дне коробки. Остальные контактные пружины крепят к плексигласу следующим образом. Концу гвоздя или куску стальной проволоки диаметром 3 *мм* с помощью напильника придают форму

четырехгранной пирамиды. Этим гвоздем в середине пружины пробивают два отверстия с зазубринами. Затем горячим паяльником такую пружину просто вдавливают зазубринами в плексиглас. Таким же образом крепят к ящику пружину — защелку для удерживания крышки и четыре контактные пружины в крышке. Изготовлен-

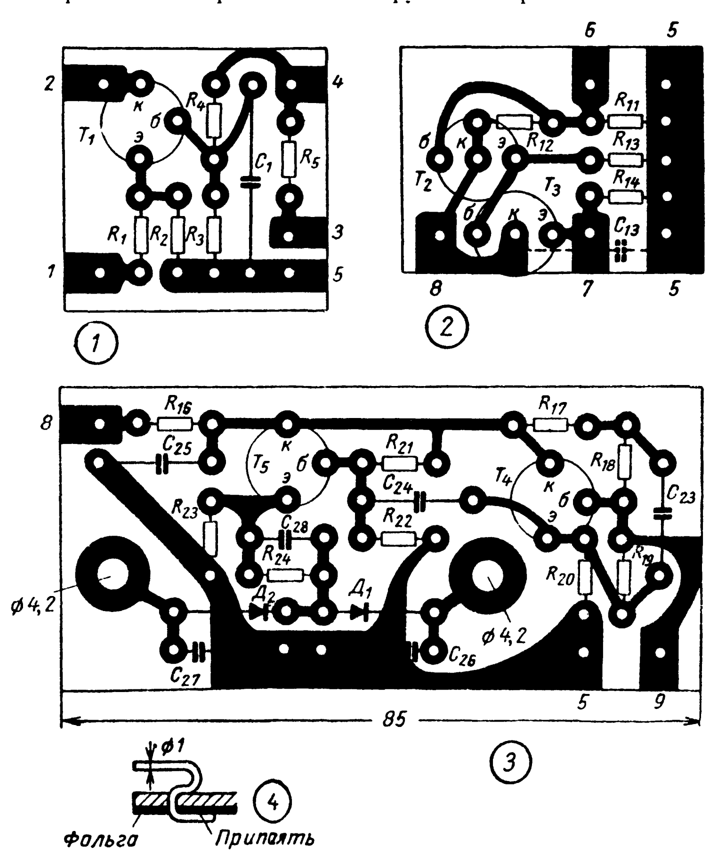


Рис. 13. Печатные платы.

1 — генератора (3,5×3,5 *см*); 2 — усилителя (3×4 *см*); 3 — транзисторного вольтметра (4×8,5 *см*); 4 — метод закрепления вывода. Неотмеченные отверстия имеют диаметр 1,3 *мм*. Конденсатор C_{13} на плате 2 подпаивают с фольгированной стороны.

ную коробку крепят на задней стороне панели (рис. 15) **в двух** точках: болтом М4 от прибора и винтом М2,6, который проходит через панель в потайную резьбу в коробке.

Схему куметра собирают на трех небольших печатных платах. Изготовляют их следующим образом. Из фольгированного гетинакса вырезают пластинки по размерам, данным на рис. 13. Эти пластинки подкладывают под соответствующие рисунки (которые представлены

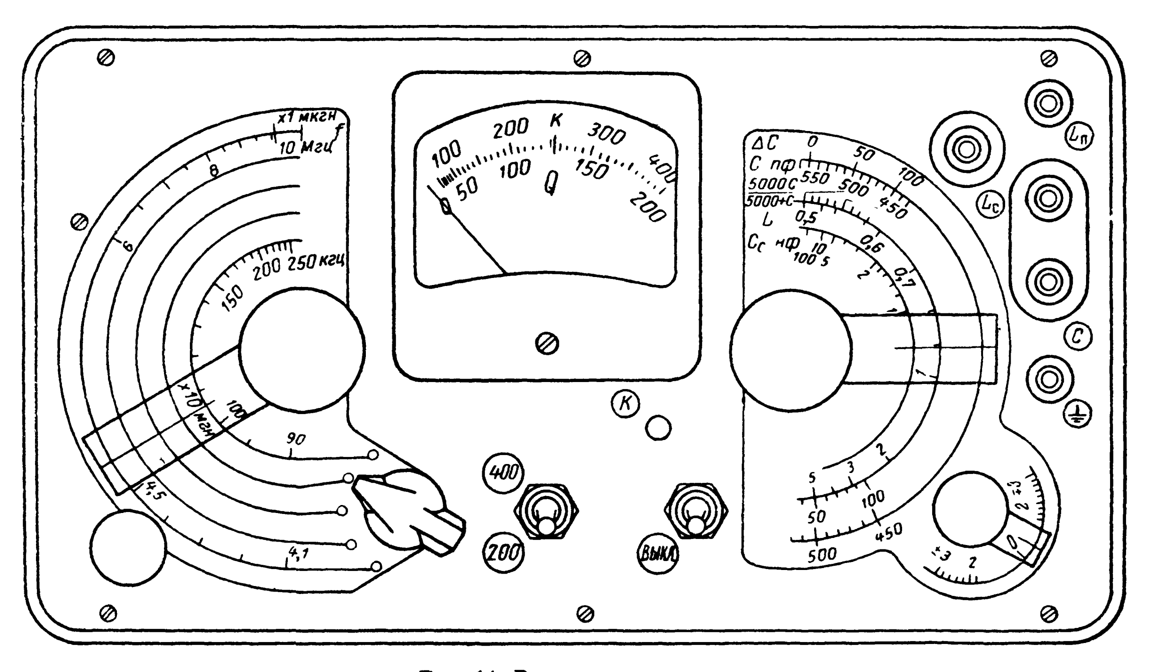


Рис. 14. Вид на панель сверху.

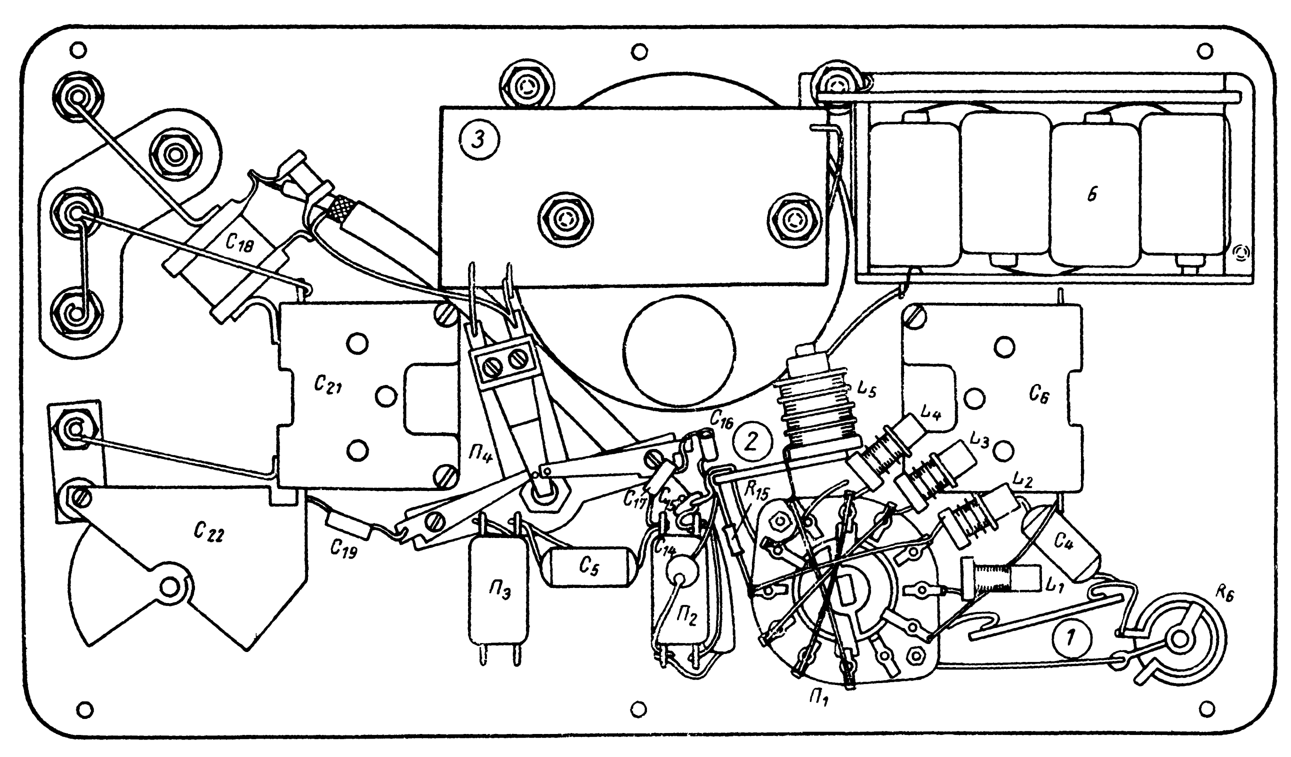


Рис. 15. Вид на панель с деталями монтажа снизу.

в масштабе 1 : 1) и шилом или кернером намечают центры отверстий. Затем сверлят отверстия и нитролаком обводят на фольге места, не подлежащие травлению. Приготовляют в эмалированном сосуде концентрированный раствор хлорного железа, подогревают до 40—50° С и погружают в него пластинки фольгированной стороной вниз. Время от времени покачивают сосуд и следят за ходом травления. При достаточно большой концентрации раствора и указанной температуре травление заканчивается примерно через 15—25 *мин.* После этого готовые платы промывают несколько раз попеременно в холодной и горячей (60—80° С) воде, снимают ацетоном или спиртом защитный слой лака, шлифуют мелкой шкуркой фольгу до блеска и прополаскивают платы в денатурате. К изготовленным платам легко припаиваются детали припоем ПОС-60 при использовании в качестве флюса раствора канифоли в денатурате.

После монтажа основных элементов на панели (рис. 14) и прикрепления печатной платы *3* непосредственно на зажимные винты прибора остается подпаять остальные две печатные платы жесткими проводами к соответствующим точкам схемы и дополнить монтаж всей схемы согласно принципиальной схеме (рис. 9) и виду на панель снизу (рис. 15). Обе секции конденсаторов переменной емкости соединяют параллельно. Особое внимание следует обратить на соединительные провода измерительного контура, которые должны быть возможно короче, с малым сопротивлением (посеребренный провод диаметром 2 *мм*). Контурные катушки, изготовленные по данным табл. 2, припаивают непосредственно к переключателю $П_1$.

Таблица 2

Данные генераторных катушек

Обозначение по схеме	Частотный диапазон	Индуктивность	Число витков (отвод)	Провод
L_5	90—250 *кгц*	5,5 *мгн*	650 (150)	ЛЭШО 3×0,05
L_4	240—640 *кгц*	760 *мкгн*	275 (85)	ЛЭШО 3×0,05
L_3	630—1 700 *кгц*	120 *мкгн*	114 (38)	ЛЭШО 10×0,05
L_2	1,6—4,2 *Мгц*	17 *мкгн*	45 (15)	ЛЭШО 20×0,05
L_1	4,1—10 *Мгц*	2,6 *мкгн*	20,5 (6)	ПЭВ 0,27

Примечания: 1. Добротность катушек $Q > 90$.

2. Каркасы катушек: L_5 — четырехсекционный полистироловый с карбонильным сердечником диаметром 7 *мм*; L_2—L_4 — трехсекционные полистироловые (от контурных катушек приемников) с ферритовым сердечником диаметром 3 *мм*; L_1 — полистироловый (от коротковолновой катушки), шаг намотки 0,4 *мм*, диаметр 6 *мм*, с ферритовым сердечником диаметром 3 *мм*.

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Для различных измерений при помощи куметра требуются эталонные катушки. В описываемом приборе применены катушки индуктивностью 1,6 *мгн*, 400, 100, 25, 6 и 1,5 *мкгн*. Катушки (кроме 6 и 1,5 *мкгн*) выполнены на броневых карбонильных сердечниках типа СБ-23-17а (СБ-3а), которые приклеивают полистироловым клеем к плексигласовым планкам размерами 6 × 18 × 36 *мм* с контактными штырьками, расположенными на расстоянии 25 *мм* друг от друга;

коротковолновые катушки мотают на цилиндрических полистироловых каркасах. Эталонные катушки можно изготовить и другой конструкции, важно только, чтобы их добротность не была ниже 150 в рабочем диапазоне частот. Катушки размещают в крышке прибора, к которой эпоксидным клеем прикрепляют плексигласовые планки с отверстиями для штырьков катушек (рис. 16). Между планками и дном оставлен зазор, чтобы можно было туда уместить инструкцию (часть этой брошюры). Кроме катушек, весьма полезным оказался и дополнительный слюдяной конденсатор емкостью 500 *пф* $\pm 1\%$, укрепленный на планке со штырьками.

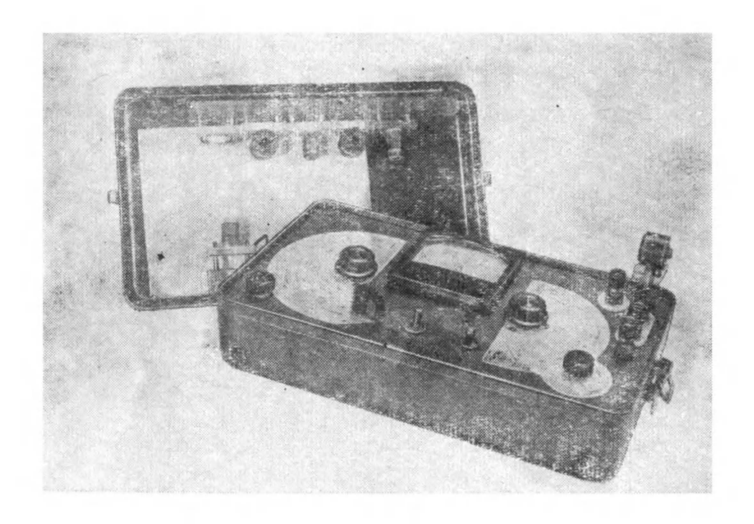


Рис. 16. Вид куметра со снятой крышкой. Внутри крышки видны колодки с отверстиями для эталонных катушек и конденсаторов.

Преимущества описанной конструкции куметра состоят в компактности, небольшом весе, малом потреблении энергии и сравнительной простоте изготовления, но это не исключает модернизацию конструкции с целью улучшения. Например, соединительные провода между конденсатором настройки и зажимами можно укоротить, что возможно при расположении зажимов на плоскости, перпендикулярной панели конденсатора переменной емкости, как это и делается в большинстве промышленных образцов. Для уменьшения потерь на высоких частотах ($f > 5$ *Мгц*) конденсатор C_{21} следует брать улучшенной конструкции, например с фрезерованными пакетами пластин, а зажимы — посеребренные без изоляции. Тогда данная схема может быть использована на частотах до 25 *Мгц*.

Глава третья

НАСТРОЙКА ПРИБОРА И ГРАДУИРОВКА ЕГО ШКАЛ

Для настройки и градуировки шкал куметра необходимы следующие приборы:

1) куметр типа Е9-4 (или КВ-1);
2) генератор стандартных сигналов типа Г4-1А (ГСС-6);
3) гетеродинный волномер типа Ч4-1 (526-У);
4) измеритель емкости типа Е12-2;
5) авометр типа ТТ-3.

Желательно дополнительно иметь:

6) высокочастотный милливольтметр типа В3-3;
7) электронный осциллограф с полосой пропускания усилителя вертикального отклонения больше 5 *Мгц*, например типа С1-22.

ПРОВЕРКА РАБОТЫ КУМЕТРА

Сначала с помощью вольтметра проверяют режимы транзисторов. Напряжения на их электродах приведены в табл. 3. Если имеются значительные отклонения от данных, приведенных в таблице, то нужно еще раз проверить правильность монтажа и исправность транзисторов.

Таблица 3

Режимы транзисторов по постоянному току

Транзистор	Напряжения на электродах, *в*		
	Эмиттер	База	Коллектор
T_1	—	1,2	4,5
T_2	7,7	—	12
T_3	6,2	7,7	12
T_4	7,6	—	11,5
T_5	5	—	11,5

Примечания: 1. Переключатель $П_1$ находится в среднем положении.

2. Напряжение питания 12 *в*, ток 5,5 *ма*.

3. Напряжения измерены вольтметром ТТ-3 по отношению к корпусу прибора.

Для проверки транзисторного вольтметра к базе транзистора T_4 подключают через конденсатор емкостью не менее 200 *пф* выход генератора стандартных сигналов. На частоте 1 *Мгц* полное отклонение стрелки микроамперметра должно происходить при напряжении 0,6—0,8 *в*. Аналогично проверяют вольтметр на частотах 0,1 и 10 *Мгц*, причем чувствительность не должна меняться более чем на ±20%. Причиной малой чувствительности на низкой частоте может быть какой-нибудь из конденсаторов, имеющий сильно заниженную емкость; малая чувствительность на высокой частоте обычно указывает на дефект транзистора или диода.

После проверки вольтметра приступают к проверке генератора куметра. При наличии электронного осциллографа (типа С1-22 или С1-35) с калибровкой как по напряжению, так и по времени его подключают к эмиттеру транзистора T_3 и с помощью потенциометра R_5 устанавливают размах колебаний генератора 8 *в*, что соответствует действующему значению примерно 2,8 *в*. Перестраивая частоту с помощью конденсатора C_6, проверяют, чтобы с помощью потенциометра R_6 можно было установить (с запасом) это напряжение на всех поддиапазонах, за исключением частот выше граничной частоты полосы пропускания осциллографа, причем форма колебаний генератора не должна заметно отличаться от синусоидальной. При этом проверяют и перекрытие частотных диапазонов. При появлении несинусоидальных колебаний увеличивают сопротивление резисторов R_7—R_{10}.

На этой стадии настройки прибор можно испытать как куметр, подключая к зажимам $L_п$ катушку. Поворачивая ручки конденсаторов переменной емкости, добиваются резонанса. Это повторяют с разными катушками на разных частотах. Основное внимание следует обращать на плавность настройки при медленном повороте ручек конденсаторов переменной емкости и подстроечного конденсатора.

ГРАДУИРОВКА ШКАЛЫ ВОЛЬТМЕТРА

Для градуировки шкалы вольтметра через конденсатор емкостью 200 *пф* к базе транзистора T_4 подключают генератор стандартных сигналов и на частоте 1 *Мгц* производят градуировку, меняя выходное напряжение генератора. По результатам градуировки строят на миллиметровке в достаточно большом масштабе график. Кривая градуировки должна быть плавной и проходить через начало координат. Если градуировка удалась плохо, ее следует повторить. После проведенной градуировки из микроамперметра осторожно извлекают шкалу прибора. Ее легко приклеивают к листу ватмана, находят центр шкалы и вычерчивают дугу с радиусом в 2—3 раза большим, чем радиус шкалы. Эту дугу градуируют в единицах Q от 25 до 200 следующим образом. Вычисляют напряжения $U = QU_п/200$, где $U_п$ — напряжение полного отклонения стрелки микроамперметра, для значений Q, кратных 25, и из графика находят соответствующие им деления шкалы, которые переносят на большую дугу. Эти деления (за исключением первого) еще подразделяют равномерно на 5 частей. На шкалу клеем БФ-2 приклеивают листок плотной мелованной бумаги (ватман не годится, так как его ворсинки мешают движению стрелки), на который с большой дуги переносят деления шкалы Q. Затем по рис. 14 делают соответствующие надписи, прибор собирают и ставят на место.

При помощи моста для измерения емкости проверяют наличие емкости 5 000 *пф*$\pm$1% между самыми крайними зажимами. Емкость подбирают подсоединением конденсатора параллельно C_{18}.

КАЛИБРОВКА

Настраивают генератор куметра на частоту около 1 *Мгц*. К зажимам $L_п$ подключают катушку высокой добротности, с которой можно настроиться в резонанс, а к зажимам C — ламповый вольтметр. Полное отклонение стрелки прибора (Q=200) должно соответ-

ствовать напряжению $U=4\div4{,}5$ *в*. Этого достигают изменением емкости конденсатора C_{19}. Если не удается получить полное отклонение стрелки, то требуемое напряжение U можно рассчитать, зная, что шкала Q прямо пропорциональна напряжению. Катушку затем удаляют, а ламповый вольтметр подключают к конденсатору C_{18} (крайние зажимы куметра). Установив тумблер $П_2$ в положение *200*, потенциометром R_6 устанавливают напряжение $U/200$. Нажимая кнопку K ($П_4$), замечают отклонение стрелки прибора, на этом месте шкалы прибора наносят калибровочную метку K. Она должна находиться примерно между $Q=100$ и $Q=150$. Если метка не попадает в этот интервал, то соответственным изменением емкости конденсатора C_{17} можно ее подогнать.

При переключении тумблера $П_2$ с положения *200* в положение *400* показание лампового вольтметра должно уменьшиться ровно вдвое, в противном случае емкости конденсаторов C_{14} и C_{15} не одинаковы.

Калибровать прибор можно и без лампового вольтметра. При помощи куметра Е9-4 измеряют добротность Q^* какой-либо катушки на частоте около 1 *Мгц*. Эта катушка, подключенная к зажимам $L_п$, на той же частоте должна показывать величину Q, вычисляемую по формуле (22), этого добиваются с помощью потенциометра R_6. Затем, нажимая кнопку K, отмечают место калибровочной метки.

Для определения добротности Q катушки можно пользоваться и методом расстройки, но только после градуировки шкал куметра.

ГРАДУИРОВКА ШКАЛ

Емкостную шкалу градуируют при помощи другого куметра, к зажимам L_x которого подключают эталонную катушку, а к зажимам C_x зажимы C градуируемого куметра. Соединительные провода должны быть как можно короче, а измерение следует производить на частоте 200—400 *кгц*. О методике таких измерений мы поговорим позже.

Вначале нужно отрегулировать зазор между пластинами подстроечного конденсатора C_{22}, чтобы максимальное изменение емкости конденсатора было около 7 *пф*, после такой регулировки его устанавливают в среднее положение. Сначала градуируют основной конденсатор C_{21} в точках, кратных 50 *пф* (или 25 *пф*). Эти точки отмечают острым карандашом на шкале. При этом надо отметить точку при полностью выведенном роторе конденсатора. Затем снимают шкалу, для этого приходится разбирать и подстроечный конденсатор. Отметки на шкале дополнительно делят на 10 (или 5) равномерных участков и вычерчивают следующие 4 шкалы согласно рис. 14:

1. Наружная — шкала C (40—560 *пф*). Цифры надписывают черной тушью. С наружной стороны шкалы наносят красной тушью цифры $\Delta C=550—C$.

2. Следующая — шкала емкости измерительного контура

$$C' = \frac{5\,000C}{5\,000+C}\ [пф], \tag{19}$$

т. е. последовательно соединенных C_{18} и C_{21}.

Рекомендуем не надписывать цифры, а соответствующие деления при помощи указательной черточки подвести к цифрам шкалы C.

3. Шкалу L — от 0,5 до 5 вычисляют по формуле

$$L=250/C'. \tag{20}$$

Цифры наносят зеленой тушью.

4. Шкалу C_c — от 100 до 0,5 *пф* вычисляют по формуле

$$C_c = \frac{0,55(550 - \Delta C)}{\Delta C} [\text{нф}]. \qquad (21)$$

Надписи рекомендуем делать черной тушью. После этого клеем № 88 шкалу подклеивают на место и затем градуируют подстроечный конденсатор емкостью ± 3 *пф*, отмечая среднее его положение нулем. Не разбирая конденсатор, на его шкале отмечают деления через 0,2 *пф*. На шкале также красной тушью помечают ΔC (цифры надписывать не требуется, только знак + или —).

Перед градуировкой частотной шкалы еще раз проверяют синусоидальность колебаний следующим приемом. Подключают к зажимам $L_п$ катушку с большой добротностью, устанавливают конденсатор настройки на большую емкость (порядка 400 *пф*) и при большой амплитуде колебаний (выведенном потенциометре R_6) находят частоту резонанса. Затем, перестраивая конденсатор настройки на емкость C, примерно в 4 раза меньшую (100 *пф*), находят второй резонанс малой амплитуды (переключатель $П_2$ перевести в положение *200*), так как контур теперь настроен на вторую гармонику. Если теперь нажать кнопку K и с помощью потенциометра R_6 установить стрелку на калибровочную метку, то найденный второй резонанс должен полностью исчезнуть. В противном случае следует увеличить сопротивление одного из резисторов R_7—R_{10}. Таким образом проверяют все частотные диапазоны в одной-двух точках, для чего потребуются различные катушки.

Градуировку частотной шкалы производят, используя гетеродинный (или еще лучше цифровой) волномер. При этом рекомендуется устанавливать амплитуду колебаний генератора около калибровочной метки. Волномер подключают к зажимам $L_п$. Если амплитуда колебаний генератора недостаточна для волномера, можно подключить дополнительно катушку индуктивности и настроить полученную цепь в резонанс. Затем шкалу снимают и вычерчивают ее черной тушью согласно рис. 14. Кроме того, наносят (зеленой тушью) отметки «$\times 1$ *мкгн*» — при $f = 10,06$ *Мгц*, «$\times 10$ *мкгн*» — при $f = 3,18$ *Мгц*, «$\times 100$ *мкгн*» — при $f = 1,006$ *Мгц*, «$\times 1$ *мгн*» — при $f = 318$ *кгц* и «$\times 10$ *мгн*» при $f = 100,6$ *кгц*.

Шкалу подклеивают на место и производят выборочную проверку градуировки шкал C и f, чтобы удостовериться в правильности ее выполнения. Градуировка и вычерчивание шкал — самая трудоемкая операция при изготовлении куметра. От правильного и тщательного проведения градуировки в основном зависит достижимая точность измерений.

После того как хорошо высохнет клей, обе шкалы необходимо покрыть густым раствором прозрачного плексигласа в дихлорэтане, чтобы предохранить их от загрязнения. Остальные надписи, если не представляется возможность их выгравировать, выполняют на небольших бумажных кружочках, покрывают раствором плексигласа и приклеивают к панели.

Глава четвертая

КРАТКАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КУМЕТРА

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРА

Диапазон частот от 90 *кгц* до 10 *Мгц* в 5 поддиапазонах. Точность установки частоты ±1,5%.

Конденсатор настройки C от 40 до 560 *пф*, точность установки до 200 *пф* — ±2 *пф*, выше 200 *пф* — ±2%. Подстроечный конденсатор ±3 *пф*, точность установки ±0,2 *пф*.

Диапазон измерения добротности Q от 25 до 400. Точность измерения ($f \leqslant 6$ *Мгц*) до $Q=100$ — ±5, выше 100 — ±5%.

Диапазон измерения индуктивности L от 0,5 *мкгн* до 50 *мгн*, точность ±5%.

Питание от встроенной батареи из 8 элементов 1,3ФМЦ-0,25; потребление тока 5,5 — 12 *ма*.

Размеры прибора (с крышкой) около 18×30×9,5 *см*.

Вес около 2,4 *кг*.

ИЗМЕРЕНИЕ ДОБРОТНОСТИ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ

Прямой метод

1. Измеряемую катушку подключить к зажимам $L_п$.

2. Включить тумблером питание, установить нужную частоту и, поворачивая ручку потенциометра (в левом нижнем углу панели), при нажатой кнопке калибровки K подвести стрелку прибора к отметке K на шкале.

3. С помощью конденсаторов настройки добиться резонанса, т. е. наибольшего отклонения стрелки прибора; произвести отсчет Q по шкале 200 или 400.

4. Более точное значение добротности катушки находят, вводя поправку, по формуле

$$Q^* = Q\left(1 + \frac{C}{5\,000}\right), \qquad (22)$$

где C — сумма показаний емкости конденсаторов настройки, *пф*.

5. Истинную добротность (с учетом собственной емкости катушки) находят по формуле

$$Q_{ист} = Q^*\left(1 + \frac{C_0}{C'}\right), \qquad (23)$$

где C_0 — собственная емкость катушки, *пф*;

C' — емкость измерительного контура, *пф*, определяемая по формуле (19) или по второй шкале емкости куметра.

6. Если при нажатой кнопке калибровки стрелка прибора не может быть установлена на отметку K, то требуется заменить батареи питания. При необходимости можно в этом случае мерить так:

если при калибровке прибор показывает $Q'_к$, а резонансное показание Q', то добротность

$$Q = Q' \frac{Q_к}{Q'_к}, \qquad (24)$$

где $Q_к$ — показание прибора, соответствующее отметке K.

7. По окончании измерения тумблер питания перевести в положение «*Выкл*».

Измерение методом расстройки

1. Измеряемую катушку подключить к зажимам $L_п$.

2. Включить тумблером питание, установить нужную частоту f и с помощью потенциометра R_6 при нажатой кнопке калибровки K стрелку прибора подвести к отметке K или другой удобной отметке на шкале прибора.

3. Подстроечный конденсатор установить на 0 и конденсатором большой емкости тщательно настроить контур в резонанс и отметить емкость C. Произвести отсчет добротности Q_0.

4. Подстроечным конденсатором расстроить контур до уменьшенного показания прибора: $Q=0{,}71Q_0$. Эту операцию проделать дважды — при расстройке в сторону как больших, так и меньших емкостей и отметить $C'_р$ и $C''_р$. Если оба значения сильно разнятся, это означает, что первоначальная настройка не была произведена достаточно тщательно.

5. Добротность катушки находят по формуле

$$Q = \frac{2C}{C'_р - C''_р}. \qquad (25)$$

Для нахождения более точных значений Q^* и $Q_{ист}$ применяют формулы (22) и (23).

6. По окончании измерения выключить питание.

Этот метод неприменим, если подстроечным конденсатором нельзя получить нужную расстройку.

ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ

Измерение емкости до 6 пф (с точностью ±0,3 пф)

1. К зажимам $L_п$ подключить эталонную катушку, подстроечный конденсатор установить на —3 *пф* по красной отметке ΔC.

2. Включить питание и настройкой частоты f и емкости C добиться резонанса.

3. К зажимам C подключить измеряемый конденсатор и добиться резонанса с помощью подстроечного конденсатора ΔC (по красным отметкам). Измеряемая емкость тогда равна:

$$C_x = \Delta C + 3 \ [пф]. \qquad (26)$$

4. По окончании измерений выключить питание.

Измерение емкости до 500 пф (с точностью ±3%)

1. К зажимам $L_п$ подключить эталонную катушку, конденсаторы настройки установить на нули по красным отметкам ΔC.

2. Включить тумблером питание и установить частоту f, при которой имеет место резонанс, т. е. стрелка прибора дает наибольшее отклонение.

3. К зажимам C подключить измеряемый конденсатор и с помощью конденсаторов настройки добиться резонанса. Неизвестная емкость отсчитывается по красным отметкам ΔC.

4. По окончании измерения выключить питание.

Измерение емкости до 1 000 пф (с точностью ±2%)

1. К зажимам $L_п$ подключить эталонную катушку, к зажимам C — эталонный конденсатор 500 *пф*±1%, а конденсаторы настройки установить на нули по красным отметкам ΔC.

2. Включить питание и, меняя частоту f, найти резонанс, т. е. наибольшее отклонение стрелки прибора.

3. Отключить эталонный конденсатор и вместо него к зажимам C подключить измеряемый конденсатор. С помощью конденсатора настройки добиться резонанса и отметить емкость по красным отметкам ΔC. Измеряемая емкость равна:

$$C_x = \Delta C + 500 \text{ [пф]}. \qquad (27)$$

4. По окончании измерения выключить питание.

Измерение емкости более 1 000 пф (с точностью ±10%)

1. К зажимам $L_с$ подключить эталонную катушку и последовательно с ней к боковому зажиму $L_с$ и верхнему зажиму — измеряемый конденсатор. Конденсаторы настройки по красным отметкам ΔC установить на нули.

2. Включить питание и установить частоту, при которой стрелка прибора дает наибольшее отклонение.

3. Вместо измеряемого конденсатора поставить перемычку (или переставить катушку в положение $L_п$) и найти новое резонансное положение главного конденсатора настройки. Неизвестную емкость найти по шкале $C_с$.

4. При больших емкостях более высокая точность измерений достигается первоначальной установкой большого конденсатора на $\Delta C = 0$, а подстроечного конденсатора на $\Delta C = -3$ *пф* (по красным отметкам). Второй резонанс получают только с помощью подстроечного конденсатора, отмечая его положение $\Delta C'$.

Измеряемая емкость будет равна:

$$C_x = \frac{0{,}553\,(550 - \Delta C')}{\Delta C' + 3} \text{ [пф]}. \qquad (28)$$

5. По окончании измерения выключить питание.

ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ КАТУШЕК (С ТОЧНОСТЬЮ ±5%)

1. Измеряемую катушку подключить к зажимам $L_п$, подстроечный конденсатор поставить на нуль.

2. Включить питание и установить ту из частот по зеленым отметкам, при которой конденсатор настройки показывает резонанс. Индуктивность катушки определить по зеленой шкале L, причем найденное значение надо умножить на множитель частотной шкалы.

3. Более точное значение индуктивности (с учетом собственной емкости катушки, равной C_0) получают, если после установки в резонанс конденсатор настройки повернуть в сторону бо́льших емкостей на величину C_0 и только тогда произвести отсчет по зеленой шкале L.

4. По окончании измерений выключить питание.

ИЗМЕРЕНИЕ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ И СОБСТВЕННОЙ ЕМКОСТИ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ

1. Примерно оценить значение собственной частоты, установить эту частоту и включить питание.

2. Подобрать подходящую эталонную катушку, которую подключить к зажимам $L_п$. С помощью конденсаторов настройки добиться резонанса.

3. Измеряемую катушку подключить к зажимам C и с помощью конденсаторов настройки найти новый резонанс. Если при этом емкость требуется увеличить, то собственную частоту следует искать в сторону более высоких частот, если уменьшить, то в сторону более низких частот.

4. Повторить пп 2 и 3, при необходимости меняя эталонные катушки, до нахождения частоты, при которой подключение измеряемой катушки не сдвигает резонанса. Это значение частоты резонанса и будет искомой собственной частотой катушки. Небольшие изменения емкости (после подключения измеряемой катушки) удобно производить подстроечным конденсатором, не трогая главного конденсатора настройки.

5. По окончании измерений выключить питание.

6. Собственную емкость катушки определяют по формуле

$$C_0 = \frac{25\,400}{f_0^2 L}\ [пф], \qquad (29)$$

где f_0 (*Мгц*) — собственная частота, а L (*мкгн*) — индуктивность измеряемой катушки.

ИЗМЕРЕНИЕ ДОБРОТНОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ ($C \leqslant 500$ *пф*)

1. Установить частоту f, на которой желают измерять добротность конденсатора, и к зажимам $L_п$ подключить подходящую эталонную катушку.

2. Включить питание, установить стрелку прибора с помощью потенциометра на метку K при нажатой кнопке, найти резонанс с помощью конденсаторов настройки и отметить емкость конденсаторов настройки C_1 и добротность Q_1.

3. К зажимам C подключить измеряемый конденсатор и с помощью конденсаторов настройки найти новые значения C_2 и Q_2. Если резонанс не удается найти, то емкость подключенного конденсатора, очевидно больше C_1 —40(*пф*). Тогда выбором другой эталонной катушки или другой частоты установить резонанс при достаточно большой емкости C_1.

4. Добротность находят по формуле

$$Q_C = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \frac{Q_1 Q_2}{Q_1 - Q_2}. \qquad (30)$$

5. По окончании измерений выключить питание.

УХОД ЗА КУМЕТРОМ

Перед проведением измерений следует удостовериться, не сбились ли лимбы шкал f и C. Для этого поворачивают их в направ-

лении часовой стрелки до упора и проверяют совпадение с начальной отметкой на шкале.

Не нужно забывать отключать питание после работ с прибором.

Если при включенном куметре не удается установить стрелку на калибровочную отметку K, заменяют батарею. Следует особенно тщательно очищать положительные полюсы элементов для получения хорошего контакта. В любительских условиях в зависимости от длительности и частоты пользования куметром одного комплекта батарей обычно хватает на 3—6 мес.

Глава пятая

ИЗМЕРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КУМЕТРА

Основные методы измерения рассматривались в предыдущей главе. Ниже приведены дополнительные методы измерения и формулы, которые могут оказаться полезными в радиолюбительской практике.

НЕКОТОРЫЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ

Измерение добротности катушки индуктивности методом расстройки

В отличие от метода, изложенного выше, при проведении измерений отмечают, кроме резонансной емкости C и добротности Q_0, ряд

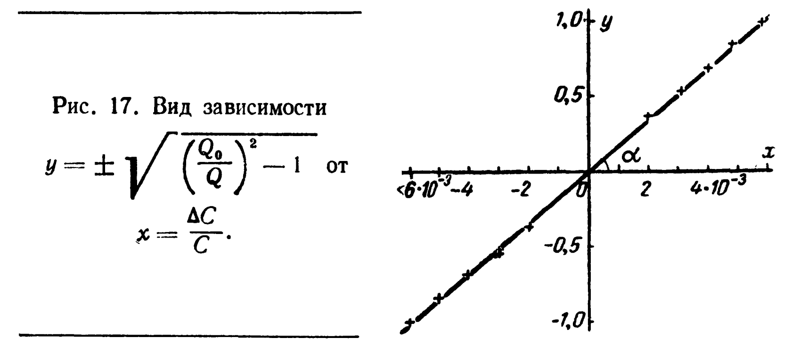


Рис. 17. Вид зависимости $y=\pm\sqrt{\left(\frac{Q_0}{Q}\right)^2-1}$ от $x=\frac{\Delta C}{C}$.

показаний прибора Q', Q'', Q''' ... при соответствующих расстройках $\Delta C'$, $\Delta C''$, $\Delta C'''$. Затем откладывают на миллиметровке $x=\Delta C/C$ и $y=\pm\sqrt{(Q_0/Q)^2-1}$, получая прямую, идущую через начало координат. Тогда

$$Q=\operatorname{tg}\alpha=\Delta y/\Delta x. \qquad (31)$$

Метод поясняется примером. Результаты измерений и расчетов сведены в табл. 4 и представлены на рис. 17. Из графика

$$Q=\Delta y/\Delta x=0{,}86/5\cdot 10^{-3}=172,$$

что хорошо согласуется с непосредственно измеренным $Q=170$.

Таблица 4

Измерение Q методом расстройки $f = 750$ *кгц*, $C = 500$ *пф*

Q	ΔC	$(Q_0/Q)^2$	$x \cdot 10^3$	$\pm y$
170	0	1,0	0	0
160	+1,0 —1,0	1,13	+2,0 —2,0	0,36
150	+1,55 —1,5	1,29	+3,1 —3,0	0,54
140	+2,0 —2,0	1,47	+4,0 —4,0	0,685
130	+2,4 —2,5	1,71	+4,8 —5,0	0,84
120	+2,9 —3,0	2,0	+5,8 —6,0	1,0

$$x = \Delta C/C;\ y = \pm\sqrt{(Q_0/Q)^2 - 1}$$

Добротность с поправкой $Q^* = Q(1 + C/5\,000) = 172(1 + 0{,}1) = 189$.

Измерение собственной емкости катушки индуктивности

Отмечают для нескольких частот f', f'', f''' ... емкости переменного конденсатора (по второй шкале C') C', C'', C''' ..., при которых измеряемая катушка настроена в резонанс, и вычерчивают график с $x = C'$ и $y = 1/f^2$, представляющий собой прямую линию, отсекающую от оси абсцисс отрезок, равный собственной емкости катушки C_0 (рис. 18). Наименьшая погрешность получается, если емкости C', C'' ... взяты возможно меньшими. Точность измерения получается удовлетворительной при $C_0 \geqslant 10$ *пф*.

Если добротность катушки достаточно большая, то возможен другой метод измерения собственной емкости. При этом методе необходимо, чтобы генератор имел вторую гармонику колебаний, поэтому потенциометр R_6 выводят до отказа (при нажатой кнопке K прибор зашкаливает). Находят резонансную частоту и отмечают емкость контура C'_1 по второй шкале, желательно в пределах 200—300 *пф*. Затем, уменьшив емкость настройки и переводя тумблер $П_2$ в положение *200*, находят емкость C'_2 резонанса на второй гармонике. Тогда собственная емкость катушки равна:

$$C_0 = \frac{C'_1 - 4C'_2}{3}. \quad (32)$$

Измерение индуктивности катушки

Если по каким-либо причинам нежелательно измерять индуктивность катушки на соответствующей частоте (отмеченной зеленой отметкой), то можно измерение производить на любой частоте f и отметить резонансную емкость контура $C' = 5\,000C/(5\,000 + C)$. Тогда индуктивность вычисляется по формуле

$$L = \frac{25{,}4}{f^2(C' + C_0)}\ [мгн], \quad (33)$$

где f — частота, *Мгц*, C — емкость, *пф*. Если собственная емкость катушки C_0 неизвестна, измерение производят на частоте f, при которой заведомо $C' \gg C_0$.

Хорошую точность измерения дает также метод, применяемый для определения собственной емкости, описанный в этом параграфе выше. На вычерченном графике (рис. 18) находят $\operatorname{tg}\alpha=\Delta y/\Delta x$. Индуктивность

$$L = 25{,}4\,\operatorname{tg}\alpha = 25{,}4\,\frac{\Delta y}{\Delta x}\ [мгн]. \quad (34)$$

Малые индуктивности можно также измерять методом последовательного соединения с эталонной катушкой. Подключают эталонную катушку к зажимам $L_п$ и определяют на частоте f резонансную емкость переменных конденсаторов C_1. Затем эталонную катушку переставляют в положение L_c и, последовательно с ней, между бо-

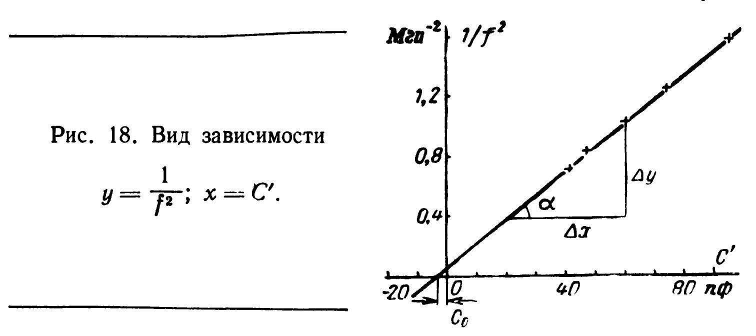


Рис. 18. Вид зависимости $y=\frac{1}{f^2}$; $x=C'$.

ковым и верхним зажимом, подключают измеряемую индуктивность и находят на той же частоте новую резонансную емкость C_2. Индуктивность при этом будет определяться по формуле

$$L = 25{,}4\,\frac{C_1 - C_2}{f^2 C_1 C_2}\ [мгн], \quad (35)$$

если частота f в мегагерцах, а емкости в пикофарадах.

ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ z

Неизвестное сопротивление z включают последовательно (если $z\ll\rho$) или параллельно (если $z\gg\rho$) к колебательному контуру, который образован эталонной катушкой L и переменным конденсатором C, и настраивают в резонанс. Волновое сопротивление контура ρ определяется по формуле $\rho=\omega_0 L$. Отмечают C_1 и Q_1, когда подключена только эталонная катушка, и C_2 и Q_2, когда кроме эталонной катушки еще подключено исследуемое сопротивление. C_1 и C_2 обозначают емкость конденсатора настройки (по первой шкале).

Формулы для вычислений полного сопротивления следующие. Если z включено параллельно эталонной катушке (рис. 19) и

$$\frac{1}{z}=\frac{1}{R}+\frac{1}{jX_п}, \text{ то} \qquad R=\frac{Q_1Q_2}{\omega C_1(Q_1-Q_2)}; \quad (36)$$

$$X_п=\frac{1}{\omega(C_2-C_1)}; \quad (37)$$

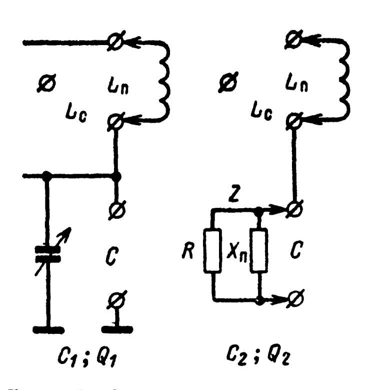


Рис. 19. Способ параллельного включения.

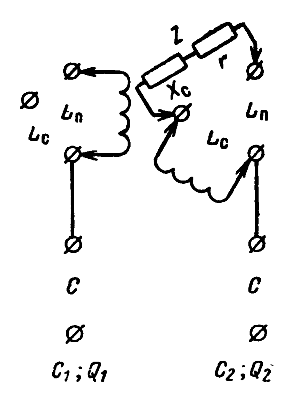


Рис. 20. Способ последовательного включения.

$$L_п = \frac{1}{\omega^2 (C_2 - C_1)}; \quad (38)$$

$$C_п = C_1 - C_2; \quad (39)$$

$$Q_п = \frac{|C_1 - C_2|}{C_1} \frac{Q_1 Q_2}{Q_1 - Q_2}. \quad (40)$$

Если z включено последовательно с эталонной катушкой (рис. 20) и $z = r + jX_с$, то

$$r = \frac{1}{\omega} \left(\frac{1}{C_2 Q_2} - \frac{1}{C_1 Q_1} \right); \quad (41)$$

$$X_с = \frac{C_1 - C_2}{\omega C_1 C_2}; \quad (42)$$

$$L_с = \frac{C_1 - C_2}{\omega^2 C_1 C_2}; \quad (43)$$

$$C_с = \frac{C_1 C_2}{C_2 - C_1}; \quad (44)$$

$$Q_с = \frac{|C_1 - C_2| Q_1 Q_2}{C_1 Q_1 - C_2 Q_2}. \quad (45)$$

Из формул (38) и (39) или (43) и (44) надо выбрать те, которые дают положительный результат.

ИЗМЕРЕНИЕ ДОБРОТНОСТИ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Контур разбивают на элементы L и C и отдельно измеряют их добротность. Затем вычисляют добротность контура по формуле (12).

Если по каким-либо причинам контур нежелательно разбивать на элементы, то можно применить другой метод, менее точный, чем

описанный выше. Подключают к зажимам $L_п$ эталонную катушку такой индуктивности, чтобы вместе с конденсатором куметра можно было настроиться на частоту резонанса измеряемого контура. Затем последний подключают к зажимам C (в случае параллельного колебательного контура), и если частота резонанса выбрана правильно, то измеряемый контур вносит только активное сопротивление. Это просто проверить подстроечным конденсатором: точка резонанса после подключения контура не должна смещаться. В противном случае резонансная частота контура была определена неправильно и частоту куметра следует соответственно увеличить (если резонанс возникает при увеличении емкости) или уменьшить (если резонанс возникает при уменьшении емкости). Производят два замера и отмечают емкость C_1 и добротность Q_1 без подключения измеряемого контура и Q_2 — после подключения контура. Вычисляют значение параллельного эквивалентного сопротивления измеряемого контура R по формуле (36) и затем находят добротность колебательного контура

$$Q = \frac{R}{\rho}, \tag{46}$$

где $\rho = \omega_0 L = 1/\omega_0 C$ — волновое сопротивление измеряемого контура. Как видно, надо еще иметь значения индуктивности L или емкости C измеряемого контура.

Последовательный колебательный контур измеряется подобным образом, а именно сначала находят емкость C_1 и добротность Q_1, затем эталонную катушку перемещают в положение $L_с$, последовательно с ней включают измеряемый контур и находят $C_2 = C_1$ и Q_2. Расчет производят по формуле (41) и затем вычисляют добротность контура по формуле

$$Q = \frac{\rho}{r}. \tag{47}$$

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЛИНИЙ

Измерение основных параметров

Измерения производят на коротких отрезках линий ($l < \lambda/30$, где λ — длина волны). На холостом ходу (дальний конец линии разомкнут) методом параллельного подключения измеряют емкость отрезка $C_п$ [формула (39)] и сопротивление R [формула (36)]. При коротком замыкании (дальний конец линии замкнут накоротко) методом последовательного подключения измеряют индуктивность отрезка $L_с$ [формула (43)] и сопротивление r [формула (41)]. Если длина линии l измерена в метрах, то емкость на метр линии

$$C_1 = \frac{C_п}{l}, \tag{48}$$

проводимость на метр линии

$$g_1 = \frac{1}{Rl}, \tag{49}$$

индуктивность на метр линии

$$L_1 = \frac{L_с}{l} \tag{50}$$

и сопротивление на метр линии

$$r_1 = \frac{r}{l}. \qquad (51)$$

Волновое сопротивление линии находят по формуле

$$\rho = \sqrt{\frac{L_c}{C_п}}. \qquad (52)$$

Скорость распространения энергии в линии

$$v = \frac{l}{\sqrt{L_c C_п}}, \qquad (53)$$

и затухание b при частоте, на которой производились измерения,

$$b = \frac{4,35}{l}\left(\frac{\rho}{R} - \frac{r}{\rho}\right) [дб/м]. \qquad (54)$$

Измерение коэффициента укорочения линии

В высокочастотных линиях с твердым диэлектриком, как, например, в коаксиальных кабелях, энергия распространяется со скоростью v, значительно меньшей скорости света c. Коэффициент укорочения c/v легко найти, зная скорости v [формула (53)] и $c = 3 \cdot 10^8$ *м/сек*. При достаточно длинном отрезке кабеля можно более точно найти коэффициент укорочения, пользуясь следующей методикой. Разомкнутые отрезки линий длиной в нечетное количество четвертей волны ведут себя как последовательный колебательный контур, а длиной в четные количества четвертей волны — как параллельный колебательный контур. Подключая линию к куметру, можно найти резонансную частоту f. Тогда

$$\frac{c}{v} = \frac{75n}{fl}, \qquad (55)$$

где n — целое число четвертей волн в длине линии. Пусть, например, разомкнутый на дальнем конце кабель, подключенный параллельно куметру, предварительно настроенному на частоту $f=9,8$ *Мгц*, не сдвигает точку резонанса. Следовательно, его длина соответствует четному числу $\lambda/4$, т. е. n — число четное. Если длина отрезка кабеля $l=10$ *м*, по формуле (55)

$$\frac{c}{v} = \frac{75 \cdot 2}{9,8 \cdot 10} = 1,53.$$

Здесь приемлемое значение $n=2$, так как $n=4$ дает уже нереальное отношение 3,1.

Глава шестая

ПОГРЕШНОСТИ КУМЕТРА

Эта глава предназначена для экспериментаторов, желающих постичь некоторые тонкости измерений с помощью куметра.

ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ДОБРОТНОСТИ КАТУШЕК

На точность измерения в основном влияют: погрешность измерения отношения U_{C0}/U [формула (17)]; частотная погрешность отношения C_1/C^*; погрешность от входного сопротивления транзисторного вольтметра и погрешность от потерь в конденсаторе переменной емкости куметра.

Напряжения U_{C0} (шкала Q) и U («контроль») измеряются одним и тем же вольтметром, поэтому исключается частотная погрешность и погрешность из-за нестабильности во времени. При тщательной градуировке можно принять погрешность U_{C0}/U равной примерно $\pm 2\%$.

Частотная погрешность C_1/C^* может достичь большой величины на высоких частотах, если не принять меры к уменьшению индуктивности большого конденсатора C^*. Например, соединительный провод длиной 0,5 *см* имеет индуктивность $L^* \approx 5 \cdot 10^{-9}$ *гн*. На частоте 10 *Мгц* эффективная емкость конденсатора C^* емкостью 5 *нф* составляет:

$$C^*_{эф} = \frac{C^*}{1 - \omega^2 L^* C^*} \approx 1{,}1C^*,$$

т. е. возрастает примерно на 10%. Малая емкость конденсатора C_1 (20 или 40 *пф*), наоборот, весьма слабо зависит от индуктивности соединительных проводов. Таким образом, в данном случае вводится погрешность около —10% в измерение Q на частоте 10 *Мгц*. Эту погрешность можно компенсировать включением индуктивности последовательно с конденсатором C_1. При $C_1 = 20$ *пф* необходима индуктивность

$$L_1 = \frac{C^*}{C_1} L^* = \frac{5\,000}{20} \cdot 5 \cdot 10^{-9} = 1{,}2 \text{ мкгн}.$$

При измерении добротности методом расстройки частотная погрешность C_1/C^* не влияет на результат измерения.

Транзисторный вольтметр имеет входное сопротивление $R_{вх} \approx$ ≈ 2 *Мом*. Как уже указывалось, благодаря применению емкостного делителя напряжения входное сопротивление возрастает в 49 раз, т. е. примерно до $R = 100$ *Мом*. Это сопротивление оказывается подключенным параллельно к конденсатору переменной емкости и, следовательно, как бы снижает добротность конденсатора. Самый неблагоприятный случай будет при измерении большой добротности на низкой частоте и малой емкости конденсатора. Например, на частоте 100 *кгц* при емкости конденсатора настройки $C = 46$ *пф* его добротность равна:

$$Q_C = \omega C R = 2\pi \cdot 10^5 \cdot 46 \cdot 10^{-12} \cdot 10^8 = 2\,900.$$

Если добротность измеряемой катушки $Q=150$, то куметр согласно выражению (12) будет показывать только

$$Q'=\frac{QQ_C}{Q+Q_C}=\frac{150\cdot 2\,900}{3\,050}=142,$$

т. е. получается погрешность минус 5%.

В общем случае погрешность, вводимая конечной добротностью конденсатора настройки Q_C, выражается как

$$\delta_R=\frac{Q'-Q}{Q}=-\frac{Q'}{Q_C}. \qquad (56)$$

Отсюда можно найти добротность катушки:

$$Q=\frac{Q'}{1+\delta_R}, \qquad (57)$$

если куметр показывает Q' и погрешность от потерь конденсатора настройки δ_R.

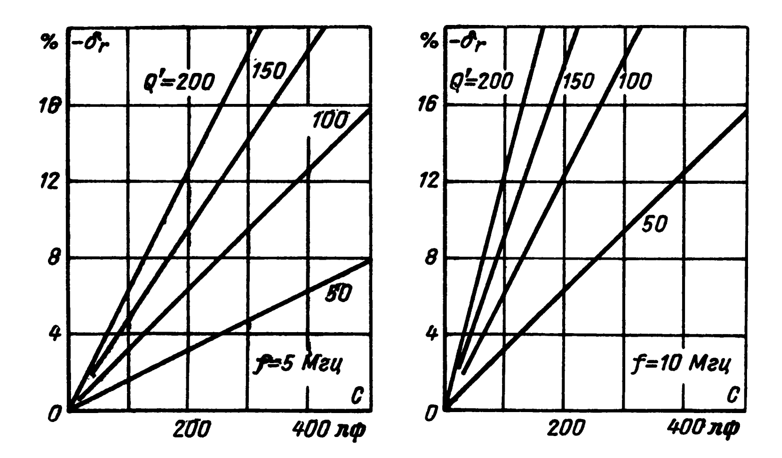


Рис. 21. Зависимость погрешности δ_r, вносимой последовательным сопротивлением $r_C=0,1$ *ом* переменного конденсатора на частотах 5 и 10 *Мгц*, от емкости этого конденсатора C и измеренной добротности Q'.

На высоких частотах добротность конденсатора переменной емкости куметра уменьшается ввиду наличия активного последовательного сопротивления r_C, которое становится соизмеримым с реактив-

ным сопротивлением. Например, для хорошего конденсатора переменной емкости $r_C=0{,}1$ *ом*, что при $C=500$ *пф* на частоте 10 *Мгц* дает:

$$Q_C=\frac{1}{\omega C r_C}=\frac{10^{12}}{2\pi\cdot 10^7\cdot 500\cdot 0{,}1}=320.$$

Если добротность катушки $Q=100$, то куметр измерит

$$Q'=\frac{QQ_C}{Q+Q_C}=\frac{100\cdot 320}{420}=76,$$

т. е. даст результат, заниженный на 24%. И для этого случая применимы формулы (56) и (57). Для частот 5 и 10 *Мгц* погрешность δ_r в зависимости от C и Q' представлена на графике рис. 21.

Резюмируя вышесказанное, можно прийти к следующим выводам. На частотах примерно до 2 *Мгц* погрешность куметра не пре-

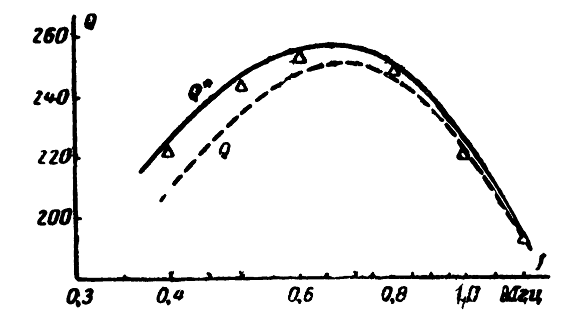


Рис. 22. Зависимость добротности эталонной катушки индуктивностью 400 *мкгн* от частоты.

Q — отсчет по шкале куметра; Q^* — значение с поправкой по формуле (22); Δ — значения добротности, измеренные куметром Е9-4.

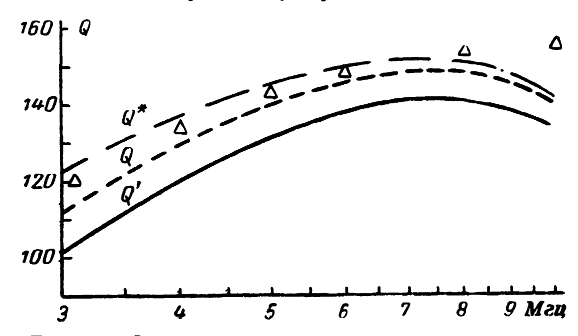


Рис. 23. Зависимость добротности эталонной катушки индуктивностью 5,8 *мкгн* от частоты.

Q' — отсчет по шкале куметра; Q — добротность с учетом погрешности от r_C; Q^* — вычисленное значение по формуле (22); Δ — значения добротности, измеренные куметром Е9-4.

вышает ±5%. При емкости настройки $C>200$ *пф* необходимо вводить по формуле (22) поправку, обусловленную схемой куметра. Без этой поправки погрешность может возрасти до —10%, как это видно из рис. 22. Погрешность от входного сопротивления транзисторного вольтметра R может быть учтена по формулам (9) и (56), но в самых неблагоприятных условиях $\delta_R \approx -5\%$. На частотах выше 2 *Мгц*, особенно при больших емкостях настройки ($C>100$ *пф*), погрешность возрастает из-за сопротивления потерь переменного конденсатора r_C. Если эту погрешность δ_r учесть по формуле (56), то и в этом случае результат не будет отличаться более чем на 5% вплоть до частоты 9 *Мгц* (рис. 23).

ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ДОБРОТНОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ

Погрешность измерения находят, складывая относительные погрешности отдельных измерений, которые входят в формулу (30), непосредственно оценивая погрешность разности. Например, при измерении добротности конденсатора типа КСО емкостью 240 *пф* ±10% получены следующие данные: $C_1=380$ *пф*, $Q_1=220$, $C_2=125$ *пф*, $Q_2=210$, $f=1$ *Мгц*. Согласно выражению (30) имеем:

$$Q_C = \frac{(C_1 - C_2)\,Q_1 Q_2}{C_1\,(Q_1 - Q_2)} = \frac{(380 - 125)\,220\cdot 210}{80\,(220 - 210)} = 3\,100.$$

Погрешность добротности $\delta_Q=5\%$, емкости $\delta_C=2\%$, $\delta_{\Delta C}=3\%$; оценивая абсолютную погрешность ($Q_1—Q_2$) в 2 единицы, получают $\delta_{\Delta Q}=\frac{2}{10}\cdot 100\%$. Итак, погрешность равна:

$$\delta = \delta_{\Delta C} + 2\delta_Q + \delta_C + \delta_{\Delta Q} = 3 + 10 + 2 + 20 = 35\%,$$

т. е. $Q_C=3\,100\pm1\,100$.

Может показаться, что такая огромная величина погрешности обесценивает измерение. Что это не так, показывает простой расчет добротности колебательного контура. Например, контур для частоты 465 *кгц* составлен из катушки $L=480$ *мкгн*, $Q_L=125\pm5\%$ и конденсатора $C=240$ *пф*, $Q_C=3\,100\pm35\%$. Тогда, согласно выражению (12)

$$Q = \frac{Q_L Q_C}{Q_L + Q_C} = \frac{125\cdot 3\,100}{125 + 3\,100} = 116.$$

Погрешность определяется по формуле

$$\delta_Q = \frac{Q_L\,\delta_{QC} + Q_C\,\delta_{QL}}{Q_L + Q_C} = \frac{125\cdot 35 + 3\,100\cdot 5}{125 + 3\,100} = 6{,}2\%,$$

т. е. по сравнению с δ_{QL} она возросла всего на 1,2%.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Акментыньш Александр Янович

Любительский куметр

Редактор *Н. М. Поляков*

Художественный редактор *Д. И. Чернышев*

Техн. редактор *Г. Г. Самсонова*

Корректор *Н. В. Лобанова*

Сдано в набор 18/III 1969 г. Подписано к печати 20/II 1970 г. Т-04056
Формат 84×108[1]/[32] Бумага типографская №
Усл. печ. л. 2,1 Уч.-изд. л. 2,37
Тираж 30 000 экз. Цена 10 коп. Зак. 2137

Издательство „Энергия". Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

Цена 10 коп.